

# Système d'arrosage automatique

## 30 – La chaîne de l'énergie

### Synthèse du cours – approche physique

Travail sur les formes d'énergie et la chaîne de l'énergie.

Nous avons profité des deux dernières séances pour avoir un échange très intéressant sur les différentes formes d'énergie, et leur lien avec la physique et la vie de tous les jours.

Je vais essayer de synthétiser ici tous les éléments abordés, pour vous permettre d'en conserver une trace écrite.

#### 1 - L'énergie : rappels de théorie : liste des formes d'énergie.

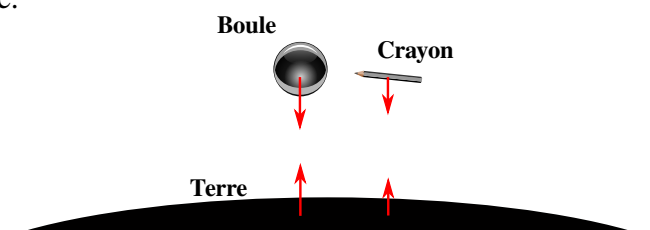
Il existe plusieurs **formes** (ou types) **d'énergie** toutes liées à un phénomène physique spécifique :

Forme d'énergie	Phénomène physique
cinétique ou mécanique	vitesse des objets en mouvement de rotation ou de translation
thermique	agitation des atomes et molécules dans la matière
électrique	déplacement des électrons
potentielle gravitationnelle	attraction entre deux corps massiques
potentielle électromagnétique ou radiative	déplacement des ondes électromagnétiques
potentielle chimique (ou de liaison)	réactions chimiques entre les atomes et molécules
réticulaire	liaison entre les molécules dans un solide ou un liquide
potentielle nucléaire	fission et fusion des noyaux des atomes
pneumatique	différence de pression
chaleur latente	changement d'état des matériaux
potentielle élastique	déformation réversible des matériaux (compression, étirement, ...)

#### 2 - Formes d'énergie, transformations, et liens avec les phénomènes physiques simples.

**2.1 - Premier cas étudié en cours :** explication de l'énergie potentielle de pesanteur et lien avec l'énergie cinétique : exemple du stylo, de la boule de métal et de la table.

Sur terre, lorsqu'on lâche un objet dans l'air il tombe en direction du sol. Ceci est dû à une force appelée "force de pesanteur" ou "gravité", et qui est exercée par la terre sur l'objet (et réciproquement).



Cette force a été représentée en rouge sur le schéma, et dépend de la masse des corps considérés, à savoir le crayon, la boule ... et la terre !

En effet, cette force n'est pas la même sur d'autres planètes, ou sur la lune, et c'est pour cette raison qu'un homme peut faire des bonds immenses sur la lune, qui est plus petite (moins massique) que la terre, et exerce donc une force de gravité plus faible.

En tombant l'objet acquiert de l'énergie cinétique liée à sa vitesse, mais cette énergie n'apparaît pas de nulle part, il s'agit de l'énergie potentielle de pesanteur, qui se transforme en énergie cinétique sous l'effet de la force de gravité.

La quantité d'énergie potentielle de pesanteur (Epp) dépend de trois facteurs identifiés en cours :

- l'accélération de la pesanteur (g), liée à la masse de la planète, et qui vaut  $9,81 \text{ m/s}^2$  sur terre
- la masse de l'objet (m) en kilogrammes (kg)
- la hauteur entre l'objet et le sol (h) exprimée en mètres (m)

L'influence de la hauteur est assez simple à mettre en évidence : si on lâche une boule de métal suffisamment lourde plusieurs mètres au dessus d'une table, la table est détruite, alors que si on lâche cette même boule juste quelques centimètres au dessus de la table, la table reste intacte.

L'influence de la masse est elle aussi assez évidente. Si c'est un simple stylo en plastique qui est lâché à plusieurs mètres au dessus de la table cette dernière reste intacte.

La formule permettant de calculer cette énergie potentielle de pesanteur est donc :

$$E_{pp} = m * g * h$$

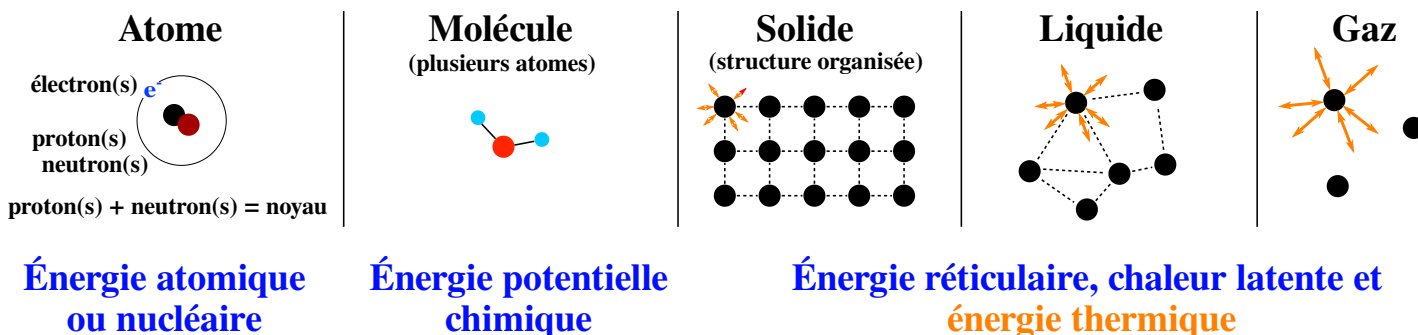
Cette énergie s'exprime en Joules (J) (comme toutes les formes d'énergie).

Cette énergie est transformée en énergie cinétique pendant la chute et lorsque l'objet arrive à la surface du sol (ou de la table), la totalité de l'énergie potentielle de pesanteur liée à la différence de hauteur initiale a été transformée (si on néglige les frottements dans l'air).

Lors du contact avec le sol, nous avons évoqué avec certains groupes le devenir de cette énergie cinétique. Elle est "dissipée" (transformée) de trois façons différentes (éventuellement en plusieurs fois avec en intermédiaire de l'énergie potentielle élastique si il y a des rebonds) :

- de l'énergie pneumatique, que nous percevons comme le son de l'impact de l'objet.
- de l'énergie thermique, provoquant une élévation de température de l'objet et du sol (ou de la table)
- de l'énergie réticulaire, provoquant la destruction de liaisons entre les atomes ou molécules de l'objet, provoquant des déformations irréversibles des objets.

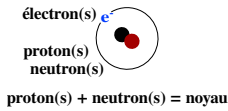
**2.2 - Deuxième cas étudié en cours :** explication simplifiée des différentes énergies liées aux états de la matière : énergie atomique, énergie potentielle chimique, énergie thermique et chaleur latente.



### Les différentes énergies de liaison, énergie thermique et chaleur latente

Nous avons abordé différentes formes d'énergie qui peuvent être un petit peu complexes à comprendre, et j'ai mis au propre ci-dessus le tableau que j'ai dessiné pendant les cours.

## Atome



### Énergie atomique ou nucléaire

La première case du tableau correspond à la taille la plus petite, l'atome, mais aussi au niveau d'énergie le plus élevé.

Un atome est composé d'un nombre à peu près égal de proton, de neutrons et d'électrons. Le nombre de ces constituants définit chaque élément chimique, par exemple 1 pour l'Hydrogène (H), 2 pour l'Hélium (He), 6 pour le Carbone (C), 7 pour l'Azote (N), 8 pour l'Oxygène (O), et ainsi de suite.

Un atome d'Oxygène est donc constitué de 8 protons, 8 neutrons, et 8 électrons.

Les liaisons entre ces constituants correspondent à l'énergie atomique (de l'atome) ou nucléaire (du noyau)

La liste complète des éléments se trouve dans le [Tableau périodique des éléments](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_périodique_des_éléments) :  
([https://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau\\_périodique\\_des\\_éléments](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_périodique_des_éléments))

Pour transformer cette énergie "stockée" dans les atomes, il y a deux solutions :

- la fission, qui consiste à casser le noyau d'un "gros" atome (comme l'Uranium), ce qui est la méthode utilisée dans les centrales (à fission) nucléaire sur terre.
- la fusion nucléaire, qui consiste à fusionner deux petits atomes (comme l'Hydrogène) en un atome plus gros (l'Hélium), ce qui est fait dans les étoiles comme notre soleil, qui est une énorme centrale de fusion nucléaire !

## Molécule

(plusieurs atomes)



### Énergie potentielle chimique

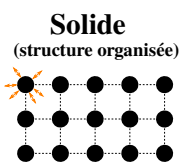
La seconde case du tableau correspond aux molécules, qui sont des assemblages d'atomes.

Ces atomes peuvent être identiques, comme dans le dioxygène (O<sub>2</sub>) ou non, comme dans l'eau (H<sub>2</sub>O). Le nombre d'atomes dans une molécule va de deux ... à plusieurs millions pour les polymères, ou .. l'ADN !

Les liaisons entre les atomes dans une molécule sont beaucoup moins fortes qu'entre les protons et les neutrons dans le noyau d'un atome, mais restent très énergétiques. Selon les atomes concernés les liaisons ont une "valeur" énergétique différente.

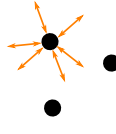
C'est ce qui nous permet de récupérer de l'énergie lors des réaction chimiques dites "exothermiques" : qui dégagent de la chaleur (par opposition aux réactions "endothermiques" : qui absorbent de la chaleur).

Lorsqu'on brûle du gaz, de l'essence, du bois, (ou des sucres dans le cas du corps humain), il s'agit en fait d'une réaction chimique entre un carburant (le méthane (CH<sub>4</sub>) par exemple) et un comburant (le dioxygène la plupart du temps), produisant d'autres composés, comme le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et l'eau (H<sub>2</sub>O). Cette réaction casse des liaisons plus énergétiques que celles qui sont créées ensuite, ce qui donne un bilan énergétique positif.



## Liquide

## Gaz



Les trois dernières cases du tableau correspondent aux différents états de la matière.

Trois énergies différentes entrent en jeu à ce niveau : l'énergie réticulaire, l'énergie thermique et la chaleur latente.

### Énergie réticulaire et chaleur latente Énergie thermique

**Note :** Je n'ai pas parlé en cours de l'énergie réticulaire, mais de l'énergie de liaison inter-moléculaire. Le terme d'énergie réticulaire est plus juste et évite la confusion avec l'énergie de liaison au niveau intra-moléculaire qui correspond à l'énergie potentielle chimique.

Sur le petit schéma, l'énergie réticulaire correspond aux traits en pointillés noirs : c'est l'énergie entre les molécules d'un solide ou d'un liquide (ou les atomes dans le cas des corps purs, comme le diamant qui n'est composé que d'atomes de carbone).

C'est l'énergie nécessaire pour casser un solide, ou séparer une goutte de liquide en deux gouttes plus petites. On se rend bien compte que cette énergie est beaucoup plus importante pour les solides que pour les liquides, et qu'elle dépend des molécules qui composent le matériau.

L'énergie thermique, correspond à "l'énergie cinétique d'agitation microscopique", c'est à dire à des mouvements microscopiques des molécules ou des atomes composant une molécule autour d'une position d'équilibre dans un solide, un liquide ou un gaz. Elle est représentée en orange sur le petit schéma.

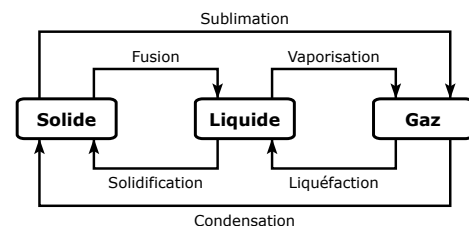
Cette énergie est directement liée à la température (et à la pression), et à l'état (solide, liquide ou gazeux) d'un composé ou d'un matériau.

Plus les atomes ou les molécules sont agités, plus le solide, le liquide ou le gaz est "chaud".

Le cas où il n'y a plus aucune agitation correspond au zéro absolu : 0°K (kelvin) ou -273,15°C (Celsius)

Le passage d'un état à un autre (solide, liquide, gaz) nécessite de briser (ou de créer) toutes les liaisons réticulaires entre les molécules, ce qui demande beaucoup d'énergie, souvent bien plus que pour faire changer de 1°C la température du composé considéré.

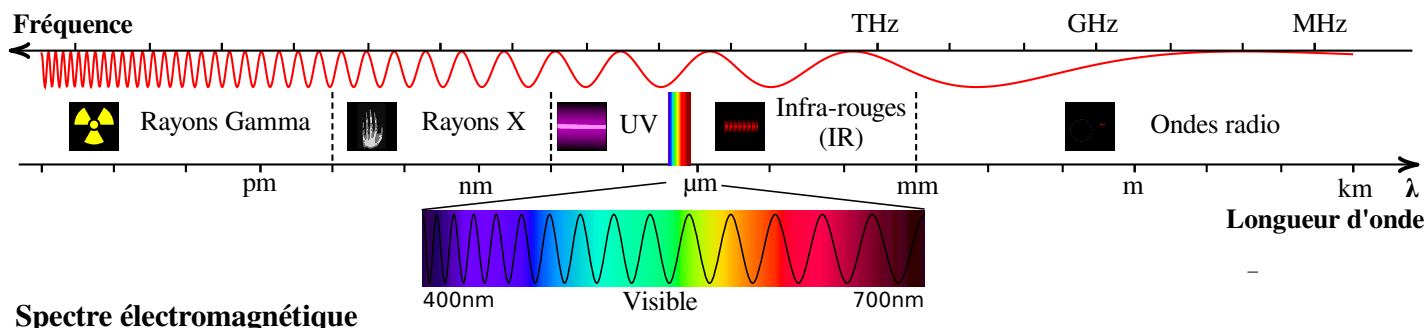
Cette quantité d'énergie est appelée chaleur latente. Elle est encore une fois différente selon le composé et selon le changement d'état considéré.



Pour l'exemple de l'eau liquide, la capacité thermique massique est de 4,18kJ/kg/°C, c'est à dire qu'il faut 4,18kJ pour augmenter de 1°C la température de 1kg (1litre) d'eau liquide.

En revanche, il faut 334kJ pour faire fondre 1kg de glace à 0°C, et 2250kJ pour vaporiser 1kg d'eau à 100°C !

### 2.3 - Troisième cas étudié en cours : l'énergie radiative et le spectre des ondes électromagnétiques.



Contrairement à ce que l'on pense, l'énergie thermique est un très mauvais vecteur d'énergie.

Elle ne se transmet pas dans le vide, ne se stocke pas très bien, et correspond le plus souvent aux pertes dans la grande majorité des systèmes (moteurs à combustion interne, transport d'électricité, frottements ...).

L'énergie reçue du soleil nous arrive sous forme de rayonnement réparti sur tout le spectre, mais filtré par différents phénomènes (couche d'ozone, atmosphère, champ magnétique terrestre) et la partie qui arrive jusqu'au sol est essentiellement concentrée autour de la partie "visible" du spectre électromagnétique.

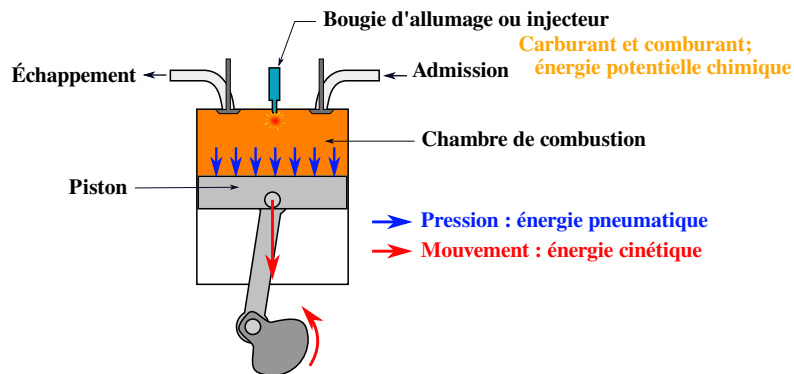
Une grande partie de l'énergie dégagée lors d'une combustion est aussi dégagée sous forme de rayonnement électromagnétique (rayonnement infrarouge), et toute la matière émet des rayons infrarouges, en quantité plus ou moins importante et à des fréquences différentes selon la température. C'est ce que l'on peut voir avec des lunettes de vision nocturne ou une caméra infrarouge !

Ce sont aussi ces ondes électromagnétiques qui sont utilisées pour les signaux de télé-communication comme le Wifi, le Bluetooth, et les ondes radio utilisées pour la téléphonie mobile !

## 2.4 - Quatrième cas étudié en cours : le moteur à combustion interne

Dans le cas du moteur à combustion interne, l'énergie contenue dans le carburant et le comburant est stockée sous forme d'énergie potentielle chimique.

La combustion (réaction chimique) produit une grande quantité de gaz dans un espace réduit. L'énergie potentielle chimique a ainsi été transformée en énergie potentielle pneumatique.



Moteur à combustion interne

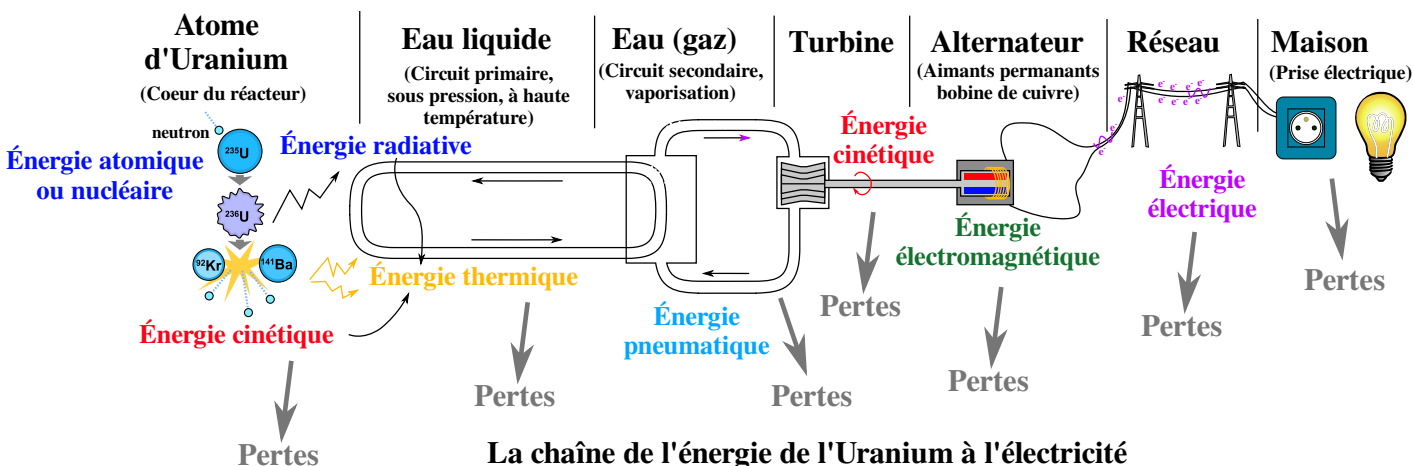
Cette pression pousse le piston, ce qui le met en mouvement, transformant l'énergie potentielle pneumatique en énergie cinétique.

Cette énergie cinétique est alors transmise à travers divers mécanismes jusqu'aux roues, ce qui met en mouvement la voiture. Cette dernière étape n'implique pas de transformation d'énergie.

**Note :** Lors de la combustion une grande partie de l'énergie potentielle chimique est transformée en énergie thermique. Dans le cas du moteur à combustion interne il s'agit de pertes, et une partie de l'énergie cinétique disponible en sortie du moteur sera même utilisée pour le refroidir, augmentant les pertes, et diminuant donc le rendement global, qui ne dépasse pas 12% dans le cas d'une voiture.

C'est à dire que 88% de l'énergie de l'essence ne sert pas à déplacer la voiture !

## 3 - La chaîne de l'énergie : de l'Uranium à l'électricité



La chaîne de l'énergie dans le cas de la fission nucléaire est très intéressante de part sa complexité. Elle utilise de nombreuses transformations successives avant que l'énergie finale soit disponible en bout de chaîne.

La source d'énergie est l'Uranium, un atome présent dans le sol (et dans l'eau et l'air) naturellement, mais en quantités limitées (ce n'est pas une source renouvelable). Cet Uranium naturellement présent est cependant peu radioactif, et il doit subir un traitement (enrichissement) pour être utilisable dans les centrales nucléaires..

Une fois enrichi, il est utilisé comme matière fissile dans le cœur du réacteur, où les atomes sont cassés par bombardement de neutrons, produisant essentiellement de l'énergie sous forme radiative (rayonnement "alpha" et "gamma"), mais surtout cinétique (vitesse des nouveaux atomes qui se séparent et des neutrons libérés lors de

la fission du noyau d'Uranium).

Cette énergie cinétique est cependant très rapidement transformée en énergie thermique, les atomes étant piégés dans la matière des barres d'Uranium (qui sont en fait un empilement de pastilles d'uranium dans un tube).

Mise à part la particularité de devoir utiliser un circuit de transfert thermique intermédiaire (circuit primaire), les centrales nucléaires, comme la totalité des solutions utilisant une source non renouvelable pour la production d'électricité, passe ensuite par l'utilisation de l'énergie pneumatique.

Contrairement au moteur à combustion interne, l'énergie pneumatique est due à l'ébullition de l'eau dans le circuit secondaire du fait de l'apport d'énergie thermique considérable. Cette énergie pneumatique permet de faire tourner une turbine.

Le reste du cycle est classique : l'énergie cinétique de la turbine entraîne un alternateur qui génère un champ électromagnétique, ce qui met en mouvement les électrons du circuit électrique, ce qui fournit l'énergie électrique au réseau de distribution.

Du fait du nombre de transformations, les pertes tout au long de cette chaîne de transformation de l'énergie sont considérables : 65 à 70% pour la seule partie "thermique" dans la centrale, auxquelles il faut ajouter le rendement de la réaction de fission (que je n'ai pas trouvées), les pertes liées au fonctionnement de la centrale (pompes, compresseurs, ...), l'énergie nécessaire à l'enrichissement du combustible, et 3% de pertes supplémentaires entre la centrale et le consommateur.

Encore une fois, le rendement de cette chaîne énergétique est assez faible.

Note : En fait, seules certaines sources d'énergie renouvelables n'utilisent pas l'énergie pneumatique comme intermédiaire pour la production d'électricité, et en pratique, il n'y a que deux solutions "exploitables industriellement" pour produire directement l'énergie électrique sans utiliser d'alternateur : les panneaux solaires photovoltaïques et les piles à combustible. (Les accumulateurs électrochimiques ne sont qu'une solution de stockage, je ne les compte pas comme sources d'énergie renouvelables).